

Efecto de cuatro inhibidores de etileno en la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante precosecha

Effects of four ethylene inhibitors on the ripening of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits during the pre-harvest period

CARLOS ANDRÉS UNIGARRO^{1, 5}
CLAUDIA PATRICIA FLÓREZ²
CARLOS EUGENIO OLIVEROS³
MYRIAM CAÑÓN⁴



Cafeto en producción.

Foto: C.P. Flórez

RESUMEN

En el proceso natural de maduración de los frutos climatéricos, se puede modificar e intervenir los mecanismos de acción del etileno durante precosecha y poscosecha. En algunos frutos los inhibidores del etileno han permitido retardar su desarrollo. En esta investigación se evaluó el efecto de cuatro inhibidores de etileno en el desarrollo de frutos de café durante precosecha. En la Estación Experimental Paraguaicito de Cenicafe (04°23' N y 75°44' W, Quindío, Colombia) en un cultivo de café variedad Castillo® Paraguaicito, se instalaron bajo un diseño de bloques completos al azar 13 tratamientos correspondientes a cuatro inhibidores de etileno que fueron acetato de potasio (0,5; 1,0 y 2,0% P/V), ácido aminoocxiacético (1, 5 y 10 mg L⁻¹), ácido salicílico (1, 5 y 10 mM) y aminoetoxi-vinil-glicina (25, 50 y 100 µg L⁻¹) en tres diferentes dosis, además de un testigo absoluto. Los inhibidores se aplicaron 1 semana antes del pico de cosecha y 4 semanas después. Se evaluaron las variables producción de café cereza, peso de un fruto, frutos caídos y el porcentaje de frutos inmaduros, pintones, maduros y sobremaduros. Esto se realizó en la cosecha principal de 2016 y la cosecha secundaria de 2017. En la cosecha principal, los tratamientos aminoetoxi-vinil-glicina (100 µg L⁻¹) y ácido salicílico (1 mM) retardaron el proceso de maduración al reducir entre 16,0 y 16,6% el porcentaje de frutos sobremaduros y aumentar entre 12,8 y 14,3% el porcentaje de frutos maduros, respecto al testigo absoluto. En la cosecha secundaria, los tratamientos y el testigo no difirieron significativamente en ninguna de las variables evaluadas.

Palabras clave adicionales: desarrollo del fruto, retardante, ácido salicílico, aminoetoxi-vinil-glicina.

¹ Disciplina de Fisiología Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Manizales (Colombia). ORCID Unigarro, C.A.: 0000-0002-7344-3211

² Disciplina de Mejoramiento Genético, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Manizales (Colombia). ORCID Flórez, C.P.: 0000-0003-2859-3496

³ Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Manizales (Colombia). ORCID Oliveros, C.E.: 0000-0002-6432-2557

⁴ Estación Experimental Paraguaicito, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Manizales (Colombia). ORCID Cañón, M.: 0000-0001-7584-0790

⁵ Autor para correspondencia. andresunigarro@gmail.com

ABSTRACT

The natural ripening process in climacteric fruits can be modified by intervening in the mechanisms of ethylene action, either pre-harvest or post-harvest. In some fruits, ethylene inhibitors retard development. In this research, the effect of four ethylene inhibitors on the development of coffee fruits during the pre-harvest period was evaluated. At the Paraguaicito Experiment Station of Cenicafé (04°23' N and 75°44' W, Quindío, Colombia) with a coffee crop of the Castillo® Paraguaicito variety, 12 treatments were carried out with four ethylene inhibitors [potassium acetate (0.5, 1.0 and 2.0% P/V), aminooxyacetic acid (1, 5 and 10 mg L⁻¹), salicylic acid (1, 5 and 10 mM) and aminoethoxy-vinyl-glycine (25, 50 y 100 µg L⁻¹)] at three different doses, in addition to an absolute control, using a randomized complete block design. The inhibitors were applied 1 week before the harvest peak, and, 4 weeks later, the variables cherry coffee production, fruit weight, dropped fruits and percentages of immature, early ripe, ripe, and overmature fruits were evaluated. This was done in the main harvest of 2016 and the secondary harvest of 2017. In the main harvest, the treatments aminoethoxy-vinyl-glycine (100 µg L⁻¹) and salicylic acid (1 mM) delayed the ripening process by reducing the percentage of overmature fruits by between 16.0 and 16.6% and by increasing the percentage of ripe fruits by between 12.8 and 14.3%, with respect to the absolute control. In the secondary harvest, the treatments and the control did not differ significantly in any of the evaluated variables.

Additional key words: fruit development, retardant, acid salicylic, aminoethoxy-vinyl-glycine.

Fecha de recepción: 23-01-2018 Aprobado para publicación: 30-05-2018

INTRODUCCIÓN

Dentro del género *Coffea* compuesto por más de 124 especies (Davis *et al.*, 2011), solo *Coffea arabica* L. y *C. canephora* Pierre ex Froehner son relevantes para los países exportadores de café, con el 63 y 37% de la producción mundial, respectivamente (ICO, 2017). El beneficio económico del café también depende de la calidad de la bebida, la cual está influenciada entre otros factores, por el estado de maduración del fruto al momento de la cosecha (Pereira *et al.*, 2005; Da-Matta *et al.*, 2007). La calidad de la bebida se afecta con sabores y aromas desperfectos (sucio, fermento, *stinker*, tierra y sabores desagradables), cuando un 2,5% o más de la masa total cosechada corresponde a frutos inmaduros (Puerta, 2000; Pezzopane *et al.*, 2012), mientras que los frutos secos producen una tasa "dura" o imbebible (Puerta, 2000). Marín *et al.* (2003) encontraron que las tazas preparadas con café de los estados pintón, maduro y sobremaduro dieron buena calidad. En la zona cafetera de Colombia, la desigual maduración de los frutos es el resultado de la asincronía floral causada por la distribución de la precipitación a lo largo del año (Camayo *et al.*, 2003); este hecho propicia cosechas escalonadas con varias recolecciones selectivas del fruto maduro (Upegui y Valencia, 1972).

En la maduración del fruto ocurren una serie de cambios bioquímicos, fisiológicos y estructurales, que hacen del fruto atractivo al consumidor (Lelièvre *et al.*, 1997). La escala fenológica BBCH para café indica que un fruto está funcionalmente maduro (semilla) cuando alcanza el 90% de su tamaño final y presenta un color verde pálido (estado BBCH-79), aunque en términos organolépticos, la madurez de cosecha solo se alcanza cuando el exocarpo se torna de un color rojo o amarillo según la variedad (estado BBCH-88) (Arcila *et al.*, 2002). En términos fisiológicos los frutos se clasifican en dos grandes grupos, dependiendo de la presencia (climatéricos) o ausencia (no climatéricos) de un pico en la respiración asociado con un incremento en la síntesis del etileno al inicio de la maduración (Lelièvre *et al.*, 1997). Miembros de la misma especie o cercanamente relacionados pueden incluir variedades climatéricas y no climatéricas (Giovannoni, 2004).

El proceso de maduración de los frutos de café, sugiere un comportamiento climatérico, dada la regulación de los genes de la biosíntesis del etileno en la maduración de los frutos (Pereira *et al.*, 2005), el incremento en la respiración asociado a la elevada producción de etileno (Ságio *et al.*, 2013) y a la sincronización de la

maduración en respuesta a aplicaciones exógenas de Ethrel (Winston *et al.*, 1992). El etileno es una poderosa hormona vegetal efectiva a concentraciones desde una parte por millón (ppm, $\mu\text{L L}^{-1}$) hasta una parte por billón (ppb, nL L^{-1}) (Saltveit, 1999) que además de participar en la maduración y senescencia de los frutos, regula los procesos de germinación en semillas, desarrollo de pelos radicales, nodulación en raíces, iniciación floral, la senescencia foliar y floral (Abeles *et al.*, 1992; Guo y Ecker, 2004; Kesari *et al.*, 2007).

La maduración de los frutos climatéricos puede regularse durante precosecha o poscosecha, interviniendo los mecanismos de acción del etileno con promotores o inhibidores químicos (Burns, 2008; Balaguera *et al.*, 2014). Promotores químicos como el "Ethephon" o "Ethrel" (ácido 2-cloroetilfosfónico), se usan para acelerar y uniformizar la maduración en muchos cultivos incluyendo algodón, café, caña de azúcar, manzanas y tomates (Winston *et al.*, 1992). En Colombia, la madurez organoléptica del fruto de café cereza se anticipó en cuatro semanas con el uso de "Ethrel", pero la acidez y el cuerpo de la bebida se afectó negativamente (Arcila, 1975).

Los inhibidores químicos del etileno actúan retardando el avance natural de la maduración en frutos, hortalizas y flores (Arora *et al.*, 2008; Balaguera *et al.*, 2014). Estos funcionan inhibiendo la biosíntesis del etileno [aminoetoxi-vinil-glicina (AVG), ácido aminooxiacético (AOA)], inhibiendo la señalización del etileno [1-metilciclopropeno (1-MCP), 2,5-norbornadieno (NBD), tiosulfato de plata (STS)] (Serek *et al.*, 2006) y/o ambas formas, como es el caso del ácido salicílico (Srivastava y Dwivedi, 2000). Otros funcionan oxidando el etileno (remoción química), siendo el permanganato de potasio (KMnO_4) el producto más importante (Wills y Warton, 2004). El uso de la combinación entre ácido acético e hidróxido de potasio en su formulación comercial Mathury® disminuyó la caída de frutos en la cosecha mecanizada de café variedad Catuaí Vermelho IAC 15 (Dias *et al.*, 2014). Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de cuatro inhibidores de etileno en el desarrollo de frutos de café en precosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental Paraguaicito de Cenicafe ubicada en Buena Vista, Quindío, Colombia ($04^{\circ}23' \text{ N}$ y $75^{\circ}44' \text{ W}$, a 1.203 msnm), en plantas de café con 38 meses de edad de la variedad

Castillo® Paraguaicito (*C. arabica* L.) establecidas a una densidad de 7.143 plantas/ha (1,0 m entre plantas \times 1,4 m entre surcos) en septiembre del 2014. Las pruebas en campo se realizaron en la cosecha principal del 2016 (3 octubre a 4 noviembre) y la cosecha secundaria del 2017 (17 abril a 19 mayo).

Antes de cada cosecha, se instalaron 12 tratamientos correspondientes a cuatro inhibidores de etileno (acetato de potasio – "PA", ácido aminooxiacético – "AOA", ácido salicílico – "AS" y aminoetoxi-vinil-glicina – "AVG") químicamente puros en tres diferentes dosis (Tab. 1), además de un testigo absoluto (sin aplicación alguna de productos o de agua), bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 12 bloques. La parcela experimental se conformó por 20 árboles, de los cuales los seis centrales constituían la parcela efectiva. Los tratamientos se aplicaron sobre los frutos una semana antes del pico de cosecha (estimado mediante los registros de floración), apuntando la boquilla de la bomba manual operada a 2 bares desde la parte ventral de la rama hacia los frutos, a una distancia de 5 cm. El coadyuvante agrícola Silwet® L-77 AG (Adama Agricultural Solutions, Raleigh, NC, USA) se utilizó como adherente con los inhibidores a una dosis de $0,5 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$. Entre 150 y 250 mL de la solución fueron aplicados sobre cada planta. Luego de realizada la aplicación, se removió todo el material vegetal (arvenses, ramas, hojas y frutos caídos) presente en el suelo de las parcelas efectivas.

Tabla 1. Aplicación de inhibidores de etileno en café variedad Castillo®.

Ingrediente activo	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) ($\mu\text{g L}^{-1}$)	25	50	100
Ácido salicílico (AS) (mM)	1	5	10
Acetato de potasio (PA) (% P/V)	0,5	1,0	2,0
Ácido aminooxiacético (AOA) (mg L^{-1})	1	5	10

Los atributos de producción y desarrollo se evaluaron 4 semanas después de implementados los tratamientos. De acuerdo con Marín *et al.* (2003), la transición por los estados de maduración de pintón (210 días después de floración: ddf), maduro (217 ddf) y sobremaduro (224 ddf) toma en promedio 7 d, con base en ello y asumiendo que en pico de cosecha se recolectan frutos principalmente maduros, el experimento llevado a cabo, extendió la permanencia de los frutos maduros en los cafetos por 3 semanas, tiempo suficiente para exceder el estado sobremaduro.

La producción de café cereza (g) se recolectó manualmente de las seis plantas que conforman la parcela efectiva. De igual forma los frutos caídos. El peso de un fruto (g) se calculó con base en el promedio de 100 frutos maduros de café cereza por parcela. El porcentaje de frutos inmaduros (estado BBCH 81), pintones (estado BBCH 85), maduros (estado BBCH 88) y sobremaduros (estado BBCH 89) se obtuvo de clasificar visualmente la coloración de los frutos según la descripción fenológica de la escala BBCH (Arcila *et al.*, 2002), en una muestra de 1 kg, la cual fue retirada de la producción por parcela después de su cosecha.

El análisis estadístico de las variables producción de café cereza, peso de un fruto y frutos caídos fue realizado usando el procedimiento PROC GLM del Software SAS v. 9.4 (SAS Institute, 2012). En el caso de las variables porcentaje de frutos inmaduros, pintones, maduros y sobremaduros se usó el procedimiento PROC GLIMMIX del software SAS (SAS Institute, 2012), considerando la distribución Beta [0,1], según las consideraciones de Stroup (2015) para los DBCA. La prueba de Dunnett al nivel de significancia del 5% se realizó para determinar la diferencia de medias entre el testigo absoluto y cada uno de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la cosecha principal (Tab. 2), el análisis de varianza no encontró diferencias significativas en las variables producción de café cereza, frutos caídos y porcentaje de frutos inmaduros. El porcentaje de frutos maduros y sobremaduros en los tratamientos AVG ($100 \mu\text{g L}^{-1}$) y AS (1 mM) fue significativamente diferente al valor del testigo absoluto (Tab. 2). Estos tratamientos lograron retardar el proceso natural de maduración con relación al testigo absoluto, al reducir entre 16,0 y 16,6% el porcentaje de frutos sobremaduros e incrementar entre 12,8 y 14,3% el porcentaje de frutos maduros. El efecto se vio reflejado en la coloración del fruto mas no en el pedúnculo, puesto que la caída de frutos no fue afectada bajo los criterios en los que se evaluó esta característica. En el caso de las variables peso de fruto y porcentaje de frutos pintones, aunque presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza, éstas no se reflejaron al comparar los tratamientos respecto al testigo (Tab. 2).

Aunque existe poca información sobre la acumulación del AS durante el desarrollo de los frutos y su rol en maduración (Davies y Böttcher, 2014), reportes en banano (Srivastava y Dwivedi, 2000), fresa (Karlidag

et al., 2009), peral (Leslie y Romani, 1988), uva (Kraeva *et al.*, 1998) y tomate (Wang *et al.*, 2011), sugieren un papel antagonista en la síntesis del etileno, tanto en frutos climatéricos como no climatéricos. La concentración efectiva de AS en el presente estudio concuerda con las reportadas por Berlanga-Reyes *et al.* (2011) ($0,01$ y $1,0 \mu\text{M}$ de AS) en precosecha para retardar la concentración interna de etileno y el cambio de color de la epidermis en manzana 'Golden Delicious'. Champa *et al.* (2015) lograron extender la vida poscosecha de uva cv. Flame Seedless (fruto no climatérico) en 15 d, al realizar aspersiones precosecha de AS a una concentración de 1,5 mM.

El AVG es un inhibidor natural de la biosíntesis del etileno (Abeles *et al.*, 1992), usado para retardar los procesos de maduración y disminuir la caída de frutos (Greene, 2005). Yildiz *et al.* (2012) observaron que al aumentar las concentraciones de AVG (de 150 a 600 mg L^{-1}) incrementaron los valores relativos de frutos maduros con respecto al control en manzana 'Red Chief'. Una respuesta muy similar se encontró en el actual trabajo, puesto que la mejor respuesta se presentó con la dosis más alta probada, la cual mostró una reducción del desarrollo natural apreciable desde la coloración. Dal Cin *et al.* (2008) retardaron el cambio en color de los frutos de manzana con AVG, lo cual, desacelero significativamente la madurez. Aunque es conocido que con el aumento de las concentraciones de AVG la caída de frutos en precosecha se reduce de forma lineal (Greene, 2005), esto no ocurrió bajo las condiciones experimentales evaluadas.

En la cosecha secundaria (Tab. 3), los tratamientos y el testigo no difirieron significativamente en ninguna de las variables evaluadas. En este periodo el desarrollo de los frutos fue mayor, evidencia de ello son los promedios generales, los cuales fueron mayores en relación a los de la cosecha principal para las variables porcentaje de frutos sobremaduros y frutos caídos (Tab. 2 y 3). La distribución y cantidad de lluvia, posiblemente afectaron la madurez de los frutos al estimular el desarrollo más allá del efecto provisto por los inhibidores o al facilitar el lavado de los tratamientos aplicados. La precipitación diaria acumulada durante los primeros 16 d de la cosecha secundaria (106 mm) fue el doble de la registrada para la cosecha principal (49 mm) en el mismo lapso de tiempo, de igual modo, la precipitación total acumulada en la segunda cosecha superó a la alcanzada en la principal (364 y 287 mm, respectivamente) (Fig. 1). La temperatura media general en ambas cosechas fue de $21,7 \text{ }^\circ\text{C}$, motivo por

el cual no pudo ser un factor diferencial para el desarrollo del fruto (Fig. 1).

Aunque en la presente investigación el inhibidor acetato de potasio no incrementó el porcentaje de frutos

maduros de café como lo reporta Silva *et al.* (2013), si se observó al igual que en su investigación, que la producción de café cereza dependió más de la época de cosecha (producción de la cosecha principal vs. secundaria) que a la variación entre los tratamientos y

Tabla 2. Efecto de la aplicación de cuatro inhibidores de etileno en café variedad Castillo® 4 semanas después de comenzar la recolección, en Buena Vista (Colombia) durante una cosecha principal (octubre a noviembre del 2016).

Tratamiento / Dosis	Producción c.c. (g)	Frutos caídos (g)	Peso de fruto (g)	Inmaduros (%)	Pintones (%)	Maduros (%)	Sobremaduros (%)
Acetato de potasio (KCH ₃ CO ₂) (0,5% P/V)	4.260,8	553,0	1,97	0,6	7,1	24,9	66,1
Acetato de potasio (KCH ₃ CO ₂) (1,0% P/V)	6.087,5	784,0	2,10	0,5	5,7	23,6	70,2
Acetato de potasio (KCH ₃ CO ₂) (2,0% P/V)	5.308,3	582,7	2,08	0,7	5,2	25,0	69,5
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (25 µg L ⁻¹)	5.087,5	456,0	2,02	0,7	8,1	20,8	69,4
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (50 µg L ⁻¹)	7.029,2	646,3	2,01	0,9	5,5	18,2	75,9
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (100 µg L ⁻¹)	5.600,0	602,6	2,20	1,1	7,0	39,0*	52,9*
Ácido aminooxiacético (AOA) (1 mg L ⁻¹)	6.179,2	640,4	2,11	0,7	8,0	30,7	60,6
Ácido aminooxiacético (AOA) (5 mg L ⁻¹)	5.529,2	575,3	2,13	0,8	6,8	26,6	66,0
Ácido aminooxiacético (AOA) (10 mg L ⁻¹)	5.946,0	647,1	1,95	1,1	4,8	28,2	66,3
Ácido salicílico (AS) (1 mM)	6.300,0	709,1	2,18	0,7	8,5	37,6*	53,5*
Ácido salicílico (AS) (5 mM)	6.566,7	662,8	2,11	1,0	8,0	27,5	63,0
Ácido salicílico (AS) (10 mM)	5.441,7	594,6	2,04	0,6	7,2	25,5	66,7
Testigo absoluto	6.204,2	671,4	2,05	0,9	5,4	24,8	69,5
Promedio general	5.810,8	625,0	2,07	0,8	6,7	27,1	65,4
ANDEVA (Pr > F)	0,6052	0,6618	0,0247	0,3741	0,0171	0,0001	0,0004

*: Dentro de la columna indica diferencias estadísticas respecto al testigo absoluto usando la prueba de Dunnett ($P \leq 0,05$). c.c.: café cereza.

Tabla 3. Efecto de la aplicación de cuatro inhibidores de etileno en café variedad Castillo® 4 semanas después de comenzar la recolección, en Buena Vista (Colombia) durante una cosecha secundaria (abril a mayo del 2017).

Tratamiento / Dosis	Producción c.c. (g)	Frutos caídos (g)	Peso de fruto (g)	Inmaduros (%)	Pintones (%)	Maduros (%)	Sobremaduros (%)
Acetato de potasio (KCH ₃ CO ₂) (0,5% P/V)	5.084,2	790,8	2,50	0,7	3,6	15,2	80,3
Acetato de potasio (KCH ₃ CO ₂) (1,0% P/V)	4.610,8	892,5	2,37	0,6	4,0	12,4	83,0
Acetato de potasio (KCH ₃ CO ₂) (2,0% P/V)	5.379,2	903,3	2,40	0,7	5,9	14,6	78,8
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (25 µg L ⁻¹)	4.035,8	895,8	2,42	0,7	4,1	14,0	81,2
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (50 µg L ⁻¹)	3.655,8	836,3	2,46	0,8	4,2	17,2	78,2
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (100 µg L ⁻¹)	3.591,7	702,5	2,44	0,7	4,0	16,0	79,3
Ácido aminooxiacético (AOA) (1 mg L ⁻¹)	3.765,8	957,1	2,46	0,5	3,7	18,7	76,4
Ácido aminooxiacético (AOA) (5 mg L ⁻¹)	3.852,5	720,0	2,50	0,6	4,5	13,3	81,6
Ácido aminooxiacético (AOA) (10 mg L ⁻¹)	3.465,8	504,2	2,44	0,5	4,5	18,6	76,5
Ácido salicílico (AS) (1 mM)	4.329,2	1054,2	2,37	0,4	4,8	14,4	80,4
Ácido salicílico (AS) (5 mM)	4.612,5	1025,8	2,51	0,7	5,4	18,6	75,7
Ácido salicílico (AS) (10 mM)	4.204,2	699,2	2,30	0,8	5,7	16,4	77,5
Testigo absoluto	4.569,2	972,1	2,55	0,7	5,0	15,8	79,0
Promedio general	4.242,8	842,6	2,44	0,6	4,6	15,8	79,1
ANDEVA (Pr > F)	0,245	0,275	0,402	0,752	0,175	0,514	0,629

*: Dentro de la columna indica diferencias estadísticas respecto al testigo absoluto usando la prueba de Dunnett ($P \leq 0,05$). c.c.: café cereza.

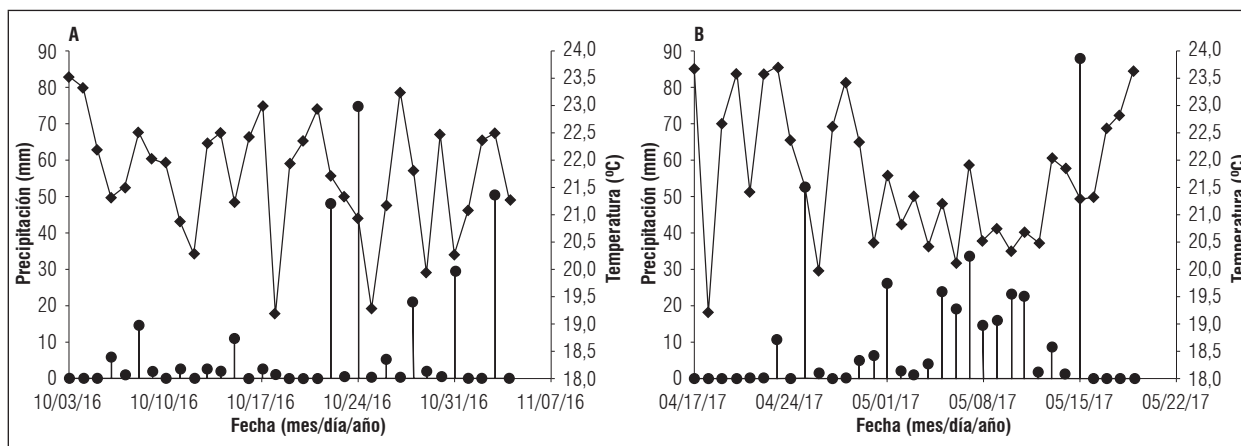


Figura 1. Registro diario de la precipitación y temperatura en un cultivo de café variedad Castillo®, durante la cosecha principal (A. Octubre a noviembre del 2016) y la cosecha secundaria (B. Abril a mayo del 2017).

testigos evaluados. De acuerdo con Dias *et al.* (2014), las precipitaciones frecuentes durante el periodo en que ocurre la maduración del fruto de café, alteran su desarrollo aumentando la caída natural de los frutos.

CONCLUSIONES

En el presente estudio los inhibidores aminoetoxi-vinil-glicina ($100 \mu\text{g L}^{-1}$) y ácido salicílico (1 mM), lograron retardar el proceso de maduración natural de los frutos de café variedad Castillo® durante la cosecha principal. En la cosecha secundaria, la precipitación adicional posiblemente estimuló la maduración de los frutos o facilitó el lavado de los inhibidores, provocando que el desarrollo no se afectara. A futuro, se requieren más pruebas que definan las concentraciones, los tiempos de aplicación, los efectos sobre la calidad de la bebida e incluso sobre el desarrollo de los órganos vegetativos de la planta, a fin de integrar el uso de los inhibidores de etileno como una tecnología funcional para la caficultura colombiana.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Los autores agradecen a Sra L. Díaz Bejarano, por la revisión y aportes en la elaboración de este artículo. De igual manera al Sr. M. Franco Arcila y al personal de apoyo en la Estación Experimental Paraguaicito por su valiosa colaboración.

Conflicto de intereses: el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeles, F.B., P.W. Morgan y M.E. Saltveit. 1992. Ethylene in plant biology. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Arcila, J. 1975. Efecto del ethephon en la calidad de la bebida del café. *Rev. Cenicafé* 26(1), 49-52.
- Arcila, J., L. Buhr, H. Bleiholder, H. Hack, U. Meier y H. Wicke. 2002. Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.). *Ann. Appl. Biol.* 141(1), 19-27. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x
- Arora, A. 2008. Biochemistry of flower senescence. pp. 51-85. En: Paliyath, G., D. Murr., A. Handa y S. Lurie (eds.). *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers*. Wiley-Blackwell Publishing, New Delhi, India.
- Balaguera, H.E., F.A. Salamanca, J.C. García y A. Herrera. 2014. Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 8(2), 302-313. Doi: 10.17584/rcch.2014v8i2.3222
- Berlanga-Reyes, D.I., V.M. Guerrero-Prieto y J.J. Ornelas-Paz. 2011. Productos alternativos a la aminoetoxi-vinilglicina para el control de la producción de etileno en manzana 'Golden Delicious'. *Tecnociencia* 5(2), 83-89.

- Burns, J.K. 2008. 1-Methylcyclopropene applications in preharvest systems: focus on citrus. *HortScience* 43(1), 112-114.
- Camayo, G.C., B. Chaves, J. Arcila y A. Jaramillo. 2003. Desarrollo floral del café y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná-Caldas. *Rev. Cenicafe* 54(1), 35-49.
- Champa, W.H., M.I.S. Gill, B.V.C. Mahajan y N.K. Arora. 2015. Preharvest salicylic acid treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless. *J. Food Sci. Technol.* 52(6), 3607-3616. Doi: 10.1007/s13197-014-1422-7
- Dal Cin, V., M. Danesin, A. Botton, A. Boschetti, A. Dorigoni y A. Ramina. 2008. Ethylene and preharvest drop: the effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). *Plant Growth Reg.* 56, 317-325. Doi: 10.1007/s10725-008-9312-5
- DaMatta, F.M., C.P. Ronchi, M. Maestri y R.S. Barros. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4), 485-510. Doi: 10.1590/S1677-04202007000400014
- Davies, C. y C. Böttcher. 2014. Other hormonal signals during ripening. pp. 202-216. En: Nath, P., M. Bouzayen, A.K. Mattoo y J.C. Pech. (eds.). *Fruit ripening: physiology, signalling and genomics*. CABI, Oxfordshire, UK. Doi: 10.1079/9781845939625.0048
- Davis, A.P., J. Tosh, N. Ruch y M.F. Fay. 2011. Growing coffee: *Psilanthus* (*Rubiaceae*) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Bot. J. Linn. Soc.* 167(4), 357-377. Doi: 10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x
- Dias, R.E.B.A., F.M. da Silva, J.P. Cunha, R.C. Avelar y F.C. Fernandes. 2014. Eficiência da colheita mecanizada do café com uso do inibidor de biossíntese de etileno. *Coffee Sci.* 9(4), 527-536. Doi: 10.25186/cs.v9i4.746
- Giovannoni, J.J. 2004. Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell* 16(suppl. 1), S170-S180. Doi: 10.1105/tpc.019158
- Greene, D.W. 2005. Time of aminoethoxyvinylglycine application influences preharvest drop and fruit quality of 'McIntosh' apples. *HortScience* 40(7), 2056-2060.
- Guo, H. y J.R. Ecker. 2004. The ethylene signaling pathway: new insights. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7(1), 40-49. Doi: 10.1016/j.pbi.2003.11.011
- ICO (International Coffee Organization). 2017. Trade statistics tables. En: http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics; consulta: septiembre de 2017.
- Karlidag, H., E. Yildirim y M. Turan. 2009. Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172(2), 270-276. Doi: 10.1002/jpln.200800058
- Kesari, R., P. Trivedi y P. Nath. 2007. Ethylene-induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. *Postharvest Biol. Technol.* 46(2), 136-143. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.04.010
- Kraeva, E., C. Andary, A. Carbonneau y A. Deloire. 1998. Salicylic acid treatment of grape berries retards ripening. *Vitis* 37(3), 143-144.
- Lelièvre, J.M., A. Latchè, B. Jones, M. Bouzayen y J.C. Pech. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiol. Plant.* 101(4), 727-739. Doi: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb01057.x
- Leslie, C.A. y R.J. Romani. 1988. Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. *Plant Physiol.* 88, 833-837. Doi: 10.1104/pp.88.3.833
- Marín, S.M., J. Arcila, E.C. Montoya y C.E. Oliveros. 2003. Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Rev. Cenicafe* 54(4), 297-315.
- Pereira, L.F.P., R.M. Galvao, A.K. Kobayashi, S.M.B. Cação y V.L.G. Esteves. 2005. Ethylene production and acc oxidase gene expression during fruit ripening of *Coffea arabica* L. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(3), 283-289. Doi: 10.1590/S1677-04202005000300002
- Pezzopane, J.R.M., T.D.J.G. Salva, V.B. de Lima y L.C. Fazuoli. 2012. Agrometeorological parameters for prediction of the maturation period of Arabica coffee cultivars. *Int. J. Biometeorol.* 56(5), 843-851. Doi: 10.1007/s00484-011-0486-6
- Puerta, G.I. 2000. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Rev. Cenicafe* 51(2), 136-150.
- Ságio, S.A., A.A. Lima, H.G. Barreto, C.H.S. de Carvalho, L.V. Paiva y A. Chalfun-Junior. 2013. Physiological and molecular analyses of early and late *Coffea arabica* cultivars at different stages of fruit ripening. *Acta Physiol. Plant.* 35(11), 3091-3098. Doi: 10.1007/s11738-013-1342-6
- Saltveit, M.E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15(3), 279-292. Doi: 10.1016/S0925-5214(98)00091-X
- SAS Institute. 2012. The SAS system for Windows. Release 9.4. Cary, NC, USA.
- Serek, M., E.J. Woltering, E.C. Sisler, S. Frello y S. Sriskandrajah. 2006. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnol. Adv.* 24(4), 368-381. Doi: 10.1016/j.biotechadv.2006.01.007
- Silva, R.A., S.N. Matsumoto, G. Marques, P.N. de Oliveira y L.S. de Oliveira. 2013. Efeito do Mathury® na maturação de frutos de café variedade Catuaí Vermelho. *Cascavel* 6(3), 66-74.

- Srivastava, K.M. y U.N. Dwivedi. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Sci.* 158(1), 87-96. Doi: 10.1016/S0168-9452(00)00304-6
- Stroup, W.W. 2015. Rethinking the analysis of non-normal data in plant and soil science. *Agron. J.* 107(2), 811-827. Doi: 10.2134/agronj2013.0342
- Upegui, G. y G. Valencia. 1972. Anticipación de la maduración de la cosecha de café, con aplicaciones de Ethrel. *Rev. Cenicafé* 23(1), 19-26.
- Wang, Y.Y., B.Q. Li, G.Z. Qin, L. Li y S.P. Tian. 2011. Defense response of tomato fruit at different maturity stages to salicylic acid and ethephon. *Sci. Hort.* 129(2), 183-188. Doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.021
- Wills, R. y M. Warton. 2004. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 129(3), 433-438.
- Winston, E.C., M. Houlst, C.J. Howitt y R.K. Shepherd. 1992. Ethylene-induced fruit ripening in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Aust. J. Exp. Agr.* 32(3), 401-408. Doi: 10.1071/EA9920401
- Yildiz, K., B. Ozturk e Y. Ozkan. 2012. Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Red Chief' apple. *Sci. Hortic.* 144, 121-124. Doi: 10.1016/j.scienta.2012.07.005